DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA COM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Anderson Antonio Ubices de Moraes (1); Claudionor Francisco do Nascimento (2);
(1) Doutor, Engenheiro Mecânico, ubices@ufscar.br , Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Mecânica, (16) 3351-8626
(2) Doutor, Engenheiro Elétrico, claudionor@ufscar.br. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica, (16) 3306-6863

RESUMO
Com o crescente interesse na busca por soluções sustentáveis, o uso da energia solar tem se tornado uma opção cada vez mais viável. Nesse contexto, a utilização de painéis fotovoltaicos em edifícios pode ser uma alternativa interessante para reduzir a demanda de energia elétrica proveniente de fontes não renováveis e ao mesmo tempo promover uma redução da carga térmica na edificação. Este trabalho avaliou a influência do uso de painéis fotovoltaicos em uma edificação pública na cidade de São Carlos-SP através de simulação com programa *Energy Plus*. Os painéis foram modelados como superfícies de sombreamento e foram analisados o percentual de horas em conforto (POC) e os graus horas de desconforto por calor (Ghc) em uma edificação sem e com um sistema fotovoltaico. Em todos os ambientes analisados houve um aumento do conforto térmico, principalmente nos ambientes do primeiro pavimento, onde ocorreu um incremento de 2,5% no POC e uma redução de até 101,1 ºC.h. Nos ambientes do térreo, a influência dos painéis foi menor. Conclui-se que o emprego de painéis solares fotovoltaicos trouxe benefícios significativos ao desempenho térmico da edificação. entretanto, é aconselhado que pesquisas adicionais sejam realizadas levando em conta outros parâmetros na análise, como as cargas térmicas internas, propriedades termofísicas da cobertura, área ocupada pelos painéis e outros climas nacionais.

Palavras-chave: Energia Solar, Desempenho térmico, Painéis fotovoltaicos.

ABSTRACT
With the growing interest in seeking sustainable solutions, the use of solar energy has become an increasingly viable option. In this context, the use of photovoltaic panels in buildings can be an interesting alternative to reduce the demand for electricity from non-renewable sources and at the same time promote a reduction in thermal load in the building. This study evaluated the influence of using photovoltaic panels on a public building in São Carlos-SP through simulation using the Energy Plus program. The panels were modeled as shading surfaces and the percentage of hours in comfort (POC) and degree hours of discomfort due to heat (Ghc) were analyzed in a building with and without a photovoltaic system. In all the analyzed environments, there was an increase in thermal comfort, especially in the environments on the first floor, where there was a 2.5% increase in POC and a reduction of up to 101.1 ºC.h in Ghc. In the ground floor environments, the influence of the panels was lower. It was concluded that the use of photovoltaic solar panels brought significant benefits to the thermal performance of the building. However, it is advised that additional research be conducted taking into account other parameters in the analysis, such as internal thermal loads, thermophysical properties of the roof, area occupied by the panels, and other national climates.

Keywords: Solar energy; Thermal performance; Photovoltaic panels

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica por meios sustentáveis e economicamente viáveis é um dos grandes desafios da comunidade científica e da sociedade moderna. Isso envolve a aplicação de novas tecnologias e mudanças de paradigmas na construção e uso das edificações. Nesse contexto, a desverticalização do setor elétrico e o estímulo ao investimento em fontes de energia descentralizadas, como a solar fotovoltaica, torna-se um desafio relevante (TOBERGTE; CURTIS, 2010).

A geração de energia elétrica a partir de fontes fósseis tem impactos ambientais significativos, como a poluição do ar e a liberação de gases de efeito estufa, o que agrava o aquecimento global (BYRNE et al., 2015). Como mais de 50% do consumo global de energia elétrica ocorre em edificações, a implementação de painéis fotovoltaicos e coletores solares nas sua cobertura e fachadas torna-se cada vez mais importante por permitir a descentralização da geração elétrica e tornar os edifícios e residências independentes da rede elétrica principal das concessionárias de energia, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil (BYRNE et al., 2015;COMPAGNON, 2004;MARTINS et al., 2016).

A radiação solar, dentro das suas limitações, é uma fonte de energia limpa, abundante e disponível em todo o planeta. Com as constantes melhorias nas tecnologias empregadas, permitindo maiores índices de eficiência na captação da radiação solar, espera-se que essa fonte de energia tenha um papel de destaque para a mudança da matriz energética mundial nas próximas décadas (BYRNE et al., 2015;MARTINS et al., 2016;SULTAN; ERVINA EFZAN, 2018).

Entretanto, a maioria das pesquisas têm sido realizadas com ênfase na eficiência do sistema fotovoltaico e na taxa de geração de energia, mas poucos trabalhos são apresentados avaliando-se a influência destes sistemas no balanço térmico no interior da edificação que estes painéis podem proporcionar (AMORIM; ABREU, 2022;BENDER et al., 2020;MANSUELO; GUARDA, 2022;YANG et al., 2021).

Mansuelo e Guarda (2022) avaliaram o uso de painéis fotovoltaicos na cobertura e seu impacto no desempenho térmico de uma edificação comercial na cidade de Cuiabá-MT, através de simulação computacional. Foram adotados seis cenários possíveis de área de captação dos painéis sobre o telhado, variando de 100% (totalmente coberto) até 0% (sem painéis). Em todos os cenários, com o uso de painéis solares, ocorreu uma diminuição dos Graus-hora de resfriamento quando comparados com o caso sem painéis.

Bender et al [8] analisaram o desempenho energético e a viabilidade econômica de fachadas solares fotovoltaicas em um edifício modelo de cinco pavimentos, localizado na cidade de Pelotas-RS. Na modelagem, os painéis opacos foram considerados como um elemento de parede equivalente, aumentando a resistência térmica das fachadas na direção norte. Os autores observaram que nestas simulações houve um aumento da carga térmica de resfriamento, porém esta foi compensada pela produção de energia elétrica dos painéis e com uma melhoria da eficiência energética do edifício quando comparada ao caso base sem painéis. Resultados semelhantes foram encontrados por Amorim et al (AMORIM; ABREU, 2022) para uma edificação educacional simulado pelo clima de Florianópolis-SC.

Yang et al. (YANG et al., 2021) realizaram uma análise de sensibilidade dos principais parâmetros de sistemas fotovoltaicos integrados na cobertura e fachadas de uma edificação em distintas condições climáticas da Austrália. Os autores concluíram que a distância entre os painéis e os elementos de fechamento da edificação foi o parâmetro de maior influência no conforto térmico nos três climas analisados sendo um quente, outro temperado quente e o último temperado frio.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do uso de painéis fotovoltaicos em uma edificação pública na cidade de São Carlos-SP, avaliando o seu desempenho térmico com ou sem os painéis. Este estudo verificou se o uso dos painéis solares fotovoltaicos, que além de serem uma alternativa interessante para reduzir a demanda de energia elétrica externa, pode também reduzir a sua carga térmica analisados através do percentual de horas em conforto (POC) e os graus horas de desconforto por calor (Ghc).

3. MÉTODO

A metodologia empregada neste trabalho é subdividida em seis etapas e, em sua maioria, foram adaptadas de Andrade et al. (2021) e estão ilustradas na Figura 1.

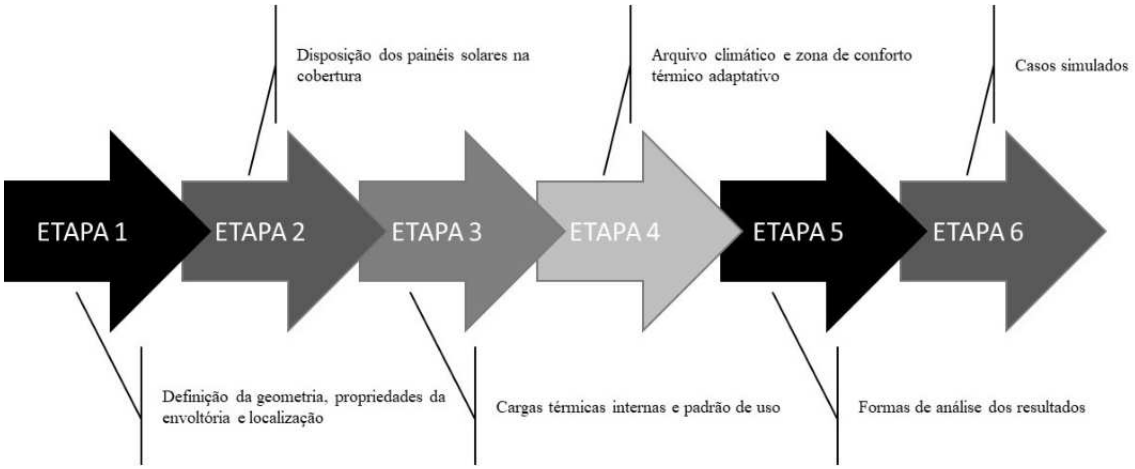


Figura 1 – Etapas do método.

3.1. Definição da geometria, propriedades da envoltória e localização do edifício

A edificação em análise é formada por salas (ou gabinetes) de docentes e respectivas secretarias de dois cursos de engenharia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), no campus de São Carlos-SP. O edifício apresenta perfil retangular com 9,40 m de largura, 25,12 m de comprimento e altura total de 8,40 m. As maiores fachadas do edifício são voltadas para a orientação norte e sul. A Figura 2 proporciona uma vista área da edificação e seu entorno, com destaque apara sua orientação geométrica em relação ao Norte.

O edifício apresenta dois pavimentos, sendo oito salas de professores e duas salas administrativas no piso térreo (piso inferior) e, 12 salas de professores no segundo pavimento (piso superior). Cada andar é composto por um corredor de acesso, áreas de uso comum, incluindo uma copa, dois banheiros, uma despensa, e uma escada e elevador de acesso entre eles. A Figura 3 fornece disposição dos ambientes internos do piso inferior e superior, respectivamente, com numeração dos ambientes de escritórios (SD) e de secretaria.



Figura 2 - Mapa geral da área do campus UFSCar de São Carlos e destaque da edificação e seu entorno. Fonte: Google Earth (2021).

A Tabela 1 apresenta dados da transmitância térmica (U em W/m^{2}K), capacidade térmica (CT em kJ/m^{2}K), absortância (em %) e fator solar (em %) dos principais elementos construtivos da edificação, calculados segundo NBR 15220-2 (ABNT, 2003) e propostos por Andrade et al. (2021)..

As paredes externas e internas são compostas por blocos de concreto de dimensões 19x19x39 cm e 2,5 cm de argamassa na face interna e externa com uma espessura total de 24 cm, U de 2,57 W/m^{2}K e CT 244kJ/m^{2}K. As fachadas apresentam, em sua maioria, coloração bege com absortância de 35 %, com exceção da fachada norte, que possui uma faixa de 5,5 m de largura do piso até a esquadria das janelas de escada que apresentam revestimento cerâmico na cor marrom e com absortância de 60 %. As lajes são compostas por lajotas cerâmicas de 24x7x20 cm com camadas de revestimento de concreto com espessura de 8 cm. A parte do teto foi modelada com a presença dessa laje, de uma telha metálica de aço galvanizado de 5 mm e com

inclinação de 5% na direção sul, e de um forro bem ventilado com mais de 5 cm de espessura e com absortância, transmitância e capacidade térmica final de 20 %, 1,17 W/m^{2}K e 308 kJ/m^{2}K, respectivamente. A laje entre pavimento e do solo foram modeladas com U de 2,58 W/m^{2}K e CT de 308 kJ/m^{2}K. As portas foram consideradas de madeira maciça de 2,5 cm de espessura, enquanto os vidros foram considerados comuns com 4 mm de espessura.

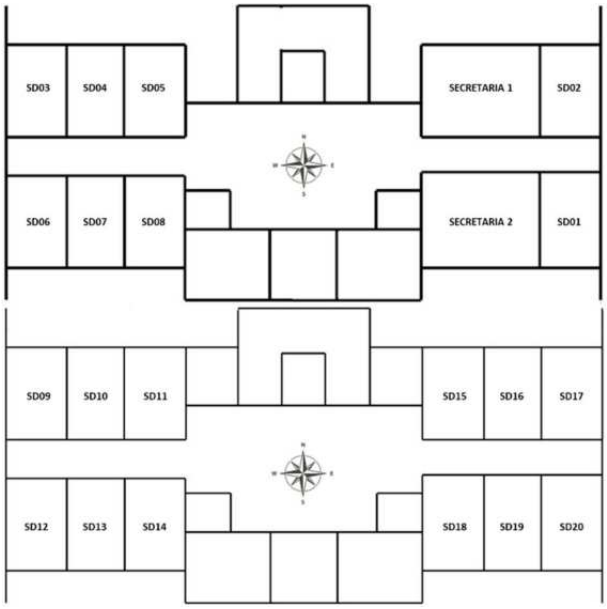


Figura 3 – Disposição dos ambientes internos do piso inferior (acima) e superior (abaixo).

Tabela 1 – Tipos de elementos da construção e suas principais propriedades termofísicas.

Elemento	U (W/m^{2}K)	CT (kJ/m^{2}K)	Absortância (%)	Fator Solar (%)
Paredes internas e externas	2,57	244	35 (bege) 60 (marrom) 20 (branco)	-
Laje + Forro + telha	1,17	308	20	-
Laje entre pavimentos e térreo	2,58	308	-	-
Porta de madeira	1,17	25		
Janelas de vidro	5,73	-	-	87

Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2021).



Figura 4 - Vista externa do edifício real e do modelo para simulação direção nordeste (à esquerda) e sudoeste (à direita).

Os elementos opacos foram modelados pela classe "**Material**" e os translúcidos pela classe

"***WindowMaterial:Glazing***", e as câmaras de ar nos blocos e lajota pela classe "***Material:AirGap***". Para os elementos da envoltória empregou-se a classe de objetos "***Construction***". Adotou-se para as temperaturas do solo o uso das temperaturas médias mensais de cada mês, que foram inseridos na classe "***Site:Ground Temperature:BulddingSurface***". As superfícies de sombreamento, em sua maioria composto por brises e pilares externos, foram modelados com emprego da classe "***Shading:Building:Detailed***".

A Figura 4 fornece vistas externas do modelo real (acima) e para simulação (abaixo) na direção nordeste (à esquerda) e sudoeste (à direita). O edifício foi modelado usando o programa computacional *EnergyPlus* (versão 8.7), com auxílio do *software Sketchup* 2017 e *plugin Euclid* 0.9.3.

3.2. Disposição de uso dos painéis solares sobre a cobertura

Resultados obtidos por Andrade et al (2021) indicam a possibilidade de uso de até 136,05 m^2 da área da cobertura de edifícios para instalação dos painéis fotovoltaicos, como apresentado pela Figura 5. A escolha da instalação na cobertura é baseada na facilidade de acesso aos painéis e pela baixa influência do sombreamento da estrutura caixa d´água e das muretas laterais sobre os módulos.

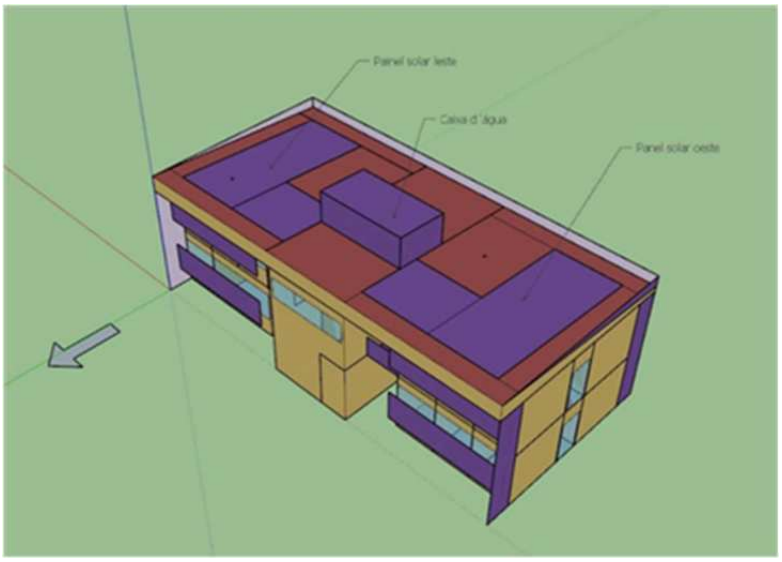


Figura 5 - Esquema da área disponível para uso dos painéis fotovoltaicos sobre a cobertura.

Para as análises térmicas do edifício, os painéis foram considerados como elementos de sombreamento seguindo método proposto por Mansuelo e Guarda (2022), e foram posicionadas distante a uma distância de 15 cm da telha metálica.

3.3. Cargas térmicas internas

Adota-se neste trabalho que o padrão de ocupação e uso de iluminação das 7 às 12 horas e das 14 às 18 horas nos dias úteis. As 20 salas de professores foram numeradas de 001 a 020 e possuem o mesmo perfil de cargas térmicas internas, sendo 130 W de iluminação, 130 W de ocupação e 75W de equipamentos elétricos. A sala de secretária principal denominada de SECRETARIA 1 apresenta uma potência de iluminação de 260 W, carga de ocupação de 390 W e potência de equipamento de 225W, enquanto a SECRETARIA 2 utiliza a mesma potência de iluminação desta, porém com carga térmica de ocupação e equipamentos semelhantes a sala de professores.

A carga térmica devido à iluminação foi obtida a partir da potência de iluminação das luminárias do local e a presença de um reator. A taxa de dissipação de calor devido aos equipamentos elétricos e de ocupação foram propostas serem similares às de um escritório com atividades leves proposto pela NBR 16401 (ABNT, 2008)

3.4. Arquivo climático e zona de conforto térmico adaptativo

A cidade de São Carlos, onde o edifício está construído, está localizada a uma altitude média de 856 m acima do nível do mar e pertence à zona bioclimática 4 (ABNT, 2003). No modelo, utilizou-se o arquivo climático TMY da cidade de São Carlos obtidos a partir do período de análise de 2000 a 2005 (LABEEE, 2023). Nesse documento são fornecidos dados das temperaturas de bulbo seco, úmido, da umidade relativa, irradiância solar,

nebulosidade e outros dados climáticos de um ano típico meteorológico.

Para definição da zona de conforto térmico adaptativo utilizou-se da correlação proposta por Brager e De Dear (ASHRAE 55, 2017) com uma aceitabilidade de 80%e com as temperaturas neutras obtidas a partir da média mensal de cada mês ($T_{m,mensal}$). As equações (1) e (2) fornecem, respectivamente, as temperaturas limites máximas ($T_{l,máx}$) e mínimas ($T_{l,mín}$) da zona de conforto em "ºC".

$$T_{l,máx} = 21.3 + 0.31T_{m,mensal} \quad \text{Equação 1}$$

$$T_{l,máx} = 14.3 + 0.31T_{m,mensal} \quad \text{Equação 2}$$

A Figura 6 fornece a zona de conforto térmico adaptativo para a cidade de São Carlos-SP com as temperaturas limites máximas e mínimas de conforto e as temperaturas médias mensais.

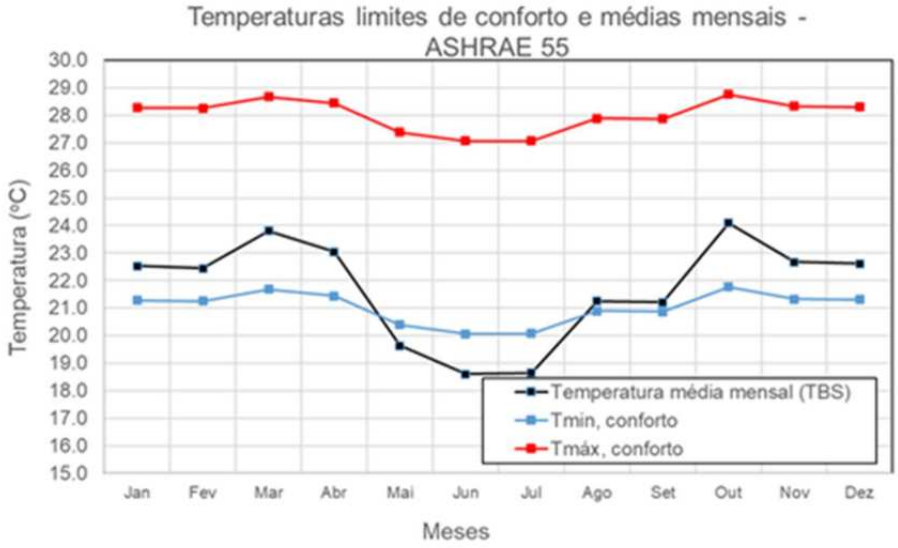


Figura 6 - Variação da temperatura média mensal ($T_{m,ext}$ – preto), e das temperaturas máximas (vermelho) e mínimas (azul) do conforto térmico adaptativo..

3.5. Taxas de renovação de ar devido a ventilação natural

A ventilação natural foi modelada nos ambientes em função do número de aberturas (portas e janelas) no local, horário de uso e da sua temperatura interna.

Para os ambientes de permanência prolongada, tais como salas de professores e secretárias, adotou-se uma troca de ar por hora no ambiente, quando estes se encontram fechados ou fora do período de funcionamento; e de quatros renovações de ar por hora, quando eles se encontram ocupados, com as janelas e portas abertas. Com intuito de evitar resfriamento excessivo do ambiente pelo ar externo durante o período de ocupação, o ambiente foi considerado fechado quando sua temperatura interna era menor que 22ºC, valor correspondente à maior $T_{min,conforto}$ obtida no mês de outubroFigura 6

No que se refere aos ambientes de permanência transitória, tais como corredores, copas e banheiros, optou-se pelo emprego de uma taxa de renovação de ar por hora. Ressalta-se que esses valores foram iguais ou levemente superiores aos propostos por Creder (2012) e BRASIL (2015).

Como todos os ambientes apresentam no mínimo uma taxa de renovação de ar por hora, indicando a infiltração de ar pelas frestas, estes foram modelados no *EnergyPlus* com um padrão sempre ligado e com objetos do tipo "***ZoneInfiltration:DesignFlowRate***". No caso das portas e janelas abertas, inseriu-se objetos da classe "***ZoneVentilation:DesingFlowRate***", do tipo natural, com três taxas de renovação de ar e abertura ajustada a partir da temperatura interna.

3.6. Formas de análise dos resultados

O percentual de horas ocupadas em conforto (POC) é definido como a razão de horas ocupadas cuja temperatura operativa do ar interior encontra-se dentro da zona de conforto, sobre as horas totais de ocupação para cada ambiente (BRASIL, 2013). A quantidade de horas ocupadas em um ano padrão de uso descrito anteriormente, é igual a 2072 horas. A equação 3 apresenta o equacionamento para obtenção do POC para cada ambiente de permanência prolongada, sendo este valor dado de 0 a 100%.

$$POC = \frac{\sum(\text{horas em conforto})}{2072} x100$$ Equação 3

Considera-se quando a temperatura operativa do ambiente estiver entre o limite inferior e superior da zona de conforto, Figura 6, o ambiente estará na faixa do conforto adaptativo e, caso não, ele estará desconfortável devido ao calor, se maior, ou devido ao frio, se menor.

Para obtenção da temperatura operativa, utiliza-se da classe "***Output:Variable***" com emprego do objeto "***Zone Operative Temperature***" no programa EnergyPlus.

Para quantificar o desconforto devido ao calor nos ambientes foi empregado o parâmetro graus horas de desconforto por calor (Ghc, "ºC.h"). Esta é uma medida obtida multiplicando-se a diferença entre a temperatura interna do ambiente e a temperatura limite de conforto térmico e um passo de tempo de análise conforme apresentado na equação 4.

$$Ghc = \sum f_{oc} . f_{dc} \left(T_{op,amb} - T_{máx,conforto} \right) . 1h$$ Equação 4

Os termos f_{oc} e f_{dc} funções unitárias de ocupação e desconforto devido ao calor, respectivamente, enquanto $T_{op,amb}$ é a temperatura operativa do ambiente e $T_{máx,desconforto}$ é a máxima temperatura do conforto térmico adaptativo daquele período.

3.7. Casos simulados

Para avaliar o impacto dos painéis solares no conforto térmico dos ambientes foram utilizadas duas simulações, uma para representar o edifício sem painel e com absortância da área dos painéis sobre a cobertura igual à da telha metálica na cor branca e, na segunda simulação, a área dos painéis foi simulada com uma superfície de sombreamento conforme apresentado na Figura 5.

4. RESULTADOS

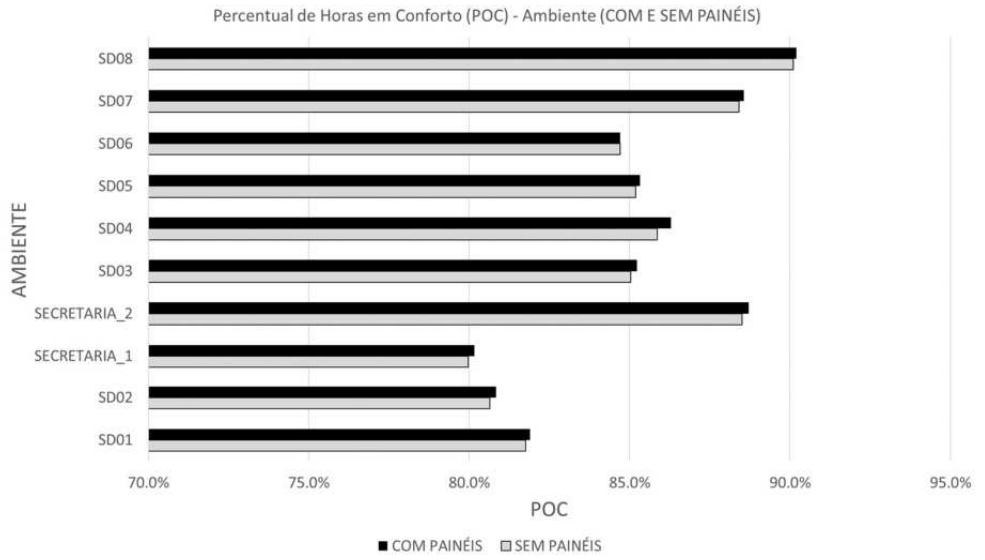
A Figura 7 apresenta uma comparação do POC nos ambientes dos dois pavimentos da edificação sem e com a presença dos painéis solares. A Figura 8 fornece a diferença entre o POC após e antes da inserção dos painéis.

Observa-se nas Figuras 7 e 8 que em todos os ambientes analisados ocorreu uma melhoria do POC quando se compara a edificação com e sem o painel fotovoltaico. No andar térreo, Figura 7 A, os valores de POC foram superiores a 80%, entretanto o aumento do POC é pequena, Figura 8. Isto pode ser explicado pela menor área de contato com o ambiente externo, boas propriedades termofisica das paredes e pelas trocas térmicas adicionais dos ambientes com o solo, que atua como um amortecedor térmico.

No piso superior, , Figura 7 B, observa-se menores valores do POC quando se compara os valores com o piso inferior. Porém, ocorre uma melhora significativa do conforto destes ambientes com a presença dos paineis, com aumentos variando de 1,1% (SD09) até 2,7% (SD14). Esta melhoria ocorre devido a redução da carga térmica proveniente da irradiação solar pela cobertura

A Figura 9 apresenta os graus horas devido ao desconforto por calor para os ambientes analisados. Observa-se nesta figura, assim como nas Figuras 7 e 8, uma nitida melhora nas condições de conforto com o emprego dos panéis nas salas do pavimento superior, com reduções de até 100,1 ºC.h (SD19) no Ghc. Nos ambientes do piso inferior, a influência do painel solar é modesta, quando comparada com o andar superior, com valores médios de Ghc de 7,5 ºC.h. Deve ressaltar, que estas diferenças seriam ainda maiores, pois o edifício apresenta boas propriedades termofísicas da cobertura, isto é, baixas transmitância térmica e absortância e uma elevada capacidade térmica, ver Tabela 1.

A)



B)

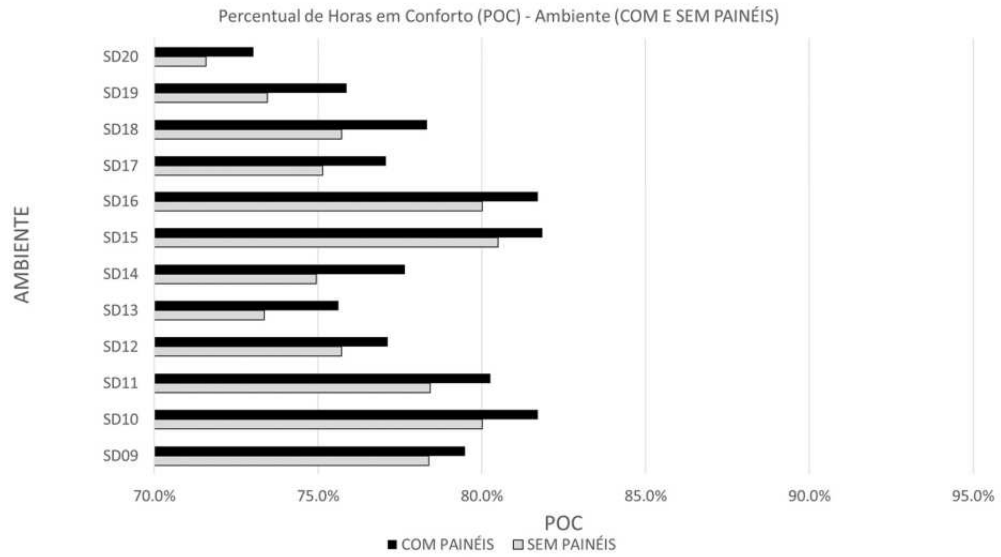


Figura 7 -POC para os ambientes localizados no piso térreo, item A), e piso superior, item B), com (preto) e sem (cinza)a utilização dos painéis solares.

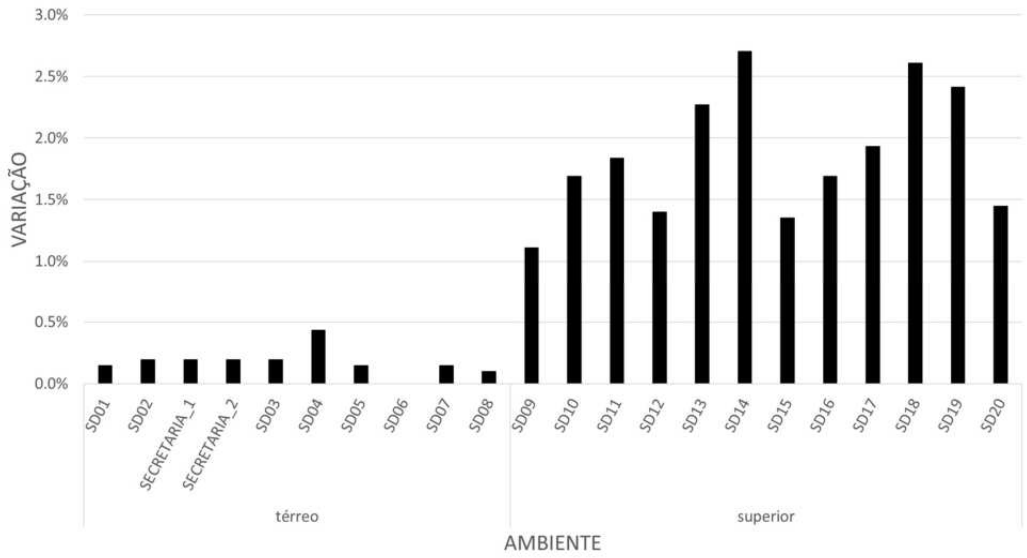
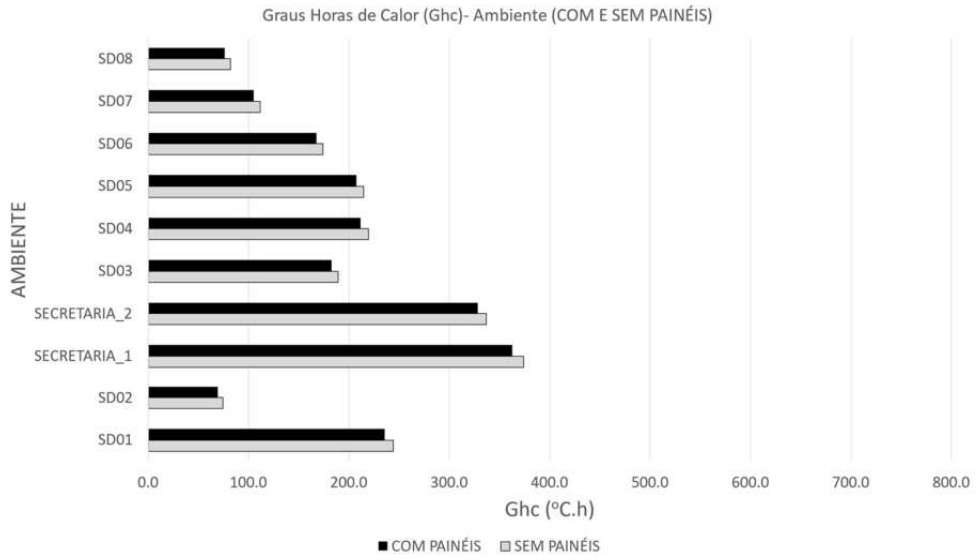


Figura 8 -Diferença entre POC após e antes da inserção dos painéis fotovoltaicos.

A)



B)

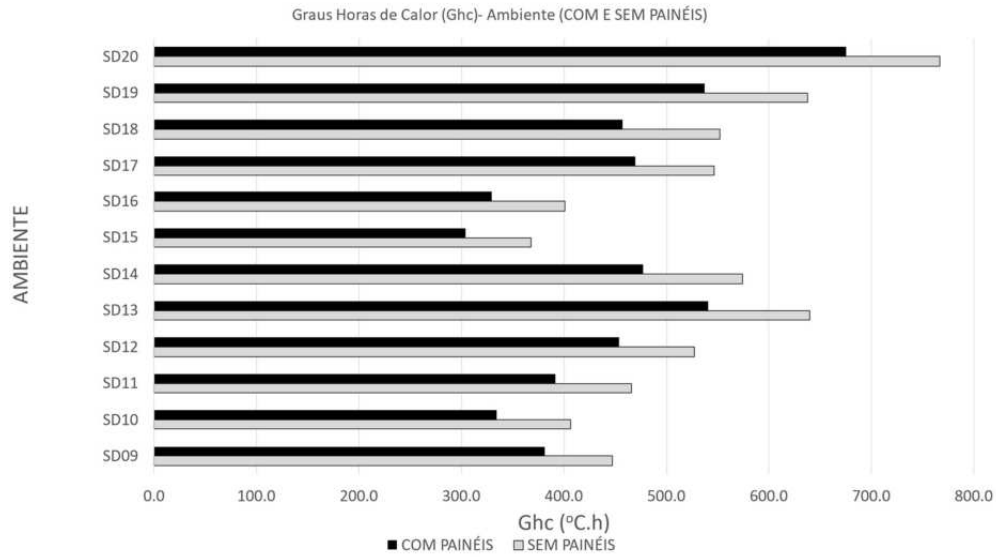


Figura 9 -Graus horas devido ao desconforto por calor nos ambientes localizados no piso térreo (acima) e superior (abaixo) com e sem utilização dos painéis solares, respectivamente, em preto e cinza.

5. CONCLUSÕES

Com o crescente interesse na busca por soluções sustentáveis, o uso da energia solar tem se tornado uma opção cada vez mais viável. Nesse contexto, a utilização de painéis fotovoltaicos em edifícios pode ser uma alternativa interessante para reduzir a demanda de energia elétrica proveniente de fontes não renováveis. Entretanto, pouca ênfase é dada na interação dos painéis com o conforto térmico da edificação.

Os resultados deste trabalho demonstram que a presença de painéis fotovoltaicos na cobertura da edificação possibilitou numa melhoria das condições de conforto térmico em todos os ambientes de permanência prolongada. A análise do POC (Percentual de Horas em Conforto) mostrou que houve um aumento deste parâmetro em todos os ambientes analisados, com valores de até 2,5%, quando comparado os ambientes sem e com os painéis. Os dados de graus horas de desconforto por calor (Ghc) mostrou uma redução significativa nos ambientes do primeiro andar, com valores de Ghc variando de 5,5°C.h a 100,1°C.h. Nos ambientes do térreo, a influência dos painéis solares foi menor, com valores médios de Ghc de 7,5°C.h. Conclui-se que a utilização de painéis solares fotovoltaicos pode trazer benefícios significativos ao desempenho térmico de edificações.

Entretanto, apesar do resultado promissor para este estudo de caso, é aconselhado que pesquisas adicionais sejam realizadas por meio de análises paramétricas do conforto térmico do ambiente, tanto para condições de calor como de frio, levando em consideração diferentes cargas térmicas internas, propriedades termofísicas da cobertura, porcentagem da área da cobertura ocupada pelos painéis e considerando outros climas brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. E.; ABREU, A. L. P. De. **Avaliação Do Desempenho Térmico E Energético De Uma Edificação Nível " a " Com O Uso De Fachada Fotovoltaica**. [s.l.], 2022.

ANDRADE, H. J. C. De et al. **Impacto do uso de painéis solares na carga térmica de um edifício público**. In: *XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR*. São Paulo: [s.n.], 2021.

ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2017: **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.

BENDER, L. V. et al. **Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil**. *Ambiente Construído*, [s.l.], v. 20, nº 4, p. 489–508, 2020. ISSN: 1415-8876, DOI: 10.1590/s1678-86212020000400484.

BRASIL, ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Desempenho Térmico de Edificações.** NBR 15.220, [s.l.], p. 66, 2003.

BRASIL. ELETROBRÁS /PROCEL. **Manual para Aplicação do RTQ-C 4.1.** 2013.

BRASIL .MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Memorial de simulação e relatório das propriedades térmicas - Parte 2 .** 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/energia/edificios/retrofit/Parte 2 - simulacao.pdf>.

BYRNE, J. et al. **A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 41, p. 830–844, 2015. ISSN: 18790690, DOI: 10.1016/j.rser.2014.08.023.

COMPAGNON, R. **Solar and daylight availability in the urban fabric**. *Energy and Buildings*, [s.l.], v. 36, nº 4, p. 321–328, 2004. ISSN: 03787788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2004.01.009.

CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. In: LTC (Org.). 6 ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. 318 p. ISBN: 9788521613466.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. 2021. Disponível em: <http://earth.google.com/>.

LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Arquivos Climáticos**. 2023. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>. Acesso em: 23/jan./23.

MANSUELO, R.; GUARDA, E. **Influencia Do Uso De Paineis Fotovoltaicos Do Desempenho Térmico De Uma Edificação Comercial**. In: *IX Congresso Brasileiro de Energia Solar*. Florianópolis: [s.n.], 2022.

MARTINS, T. A. de L. et al. **Sensitivity analysis of urban morphology factors regarding solar energy potential of buildings in a Brazilian tropical context**. *Solar Energy*, [s.l.], v. 137, p. 11–24, 2016. ISSN: 0038092X, DOI: 10.1016/j.solener.2016.07.053.

SULTAN, S. M.; ERVINA EFZAN, M. N. **Review on recent Photovoltaic/Thermal (PV/T) technology advances and applications**. *Solar Energy*, [s.l.], v. 173, nº August, p. 939–954, 2018. ISSN: 0038092X, DOI: 10.1016/j.solener.2018.08.032.

TOBERGTE, D. R.; CURTIS, S. **A Integração De Sistemas Solares Fotovoltaicos Em Larga Escala No Sistema Elétrico De Distribuição Urbana**. *Journal of Chemical Information and Modeling*, [s.l.], p. 257, 2010. ISBN: 9788578110796, ISSN: 1098-6596, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004.

YANG, S. et al. **A sensitivity analysis of design parameters of BIPV/T-DSF in relation to building energy and thermal comfort performances**. *Journal of Building Engineering*, [s.l.], v. 41, nº March, p. 102426, 2021. ISSN: 23527102, DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102426.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os departamentos de Engenharias Elétrica e Mecânica da UFSCar pela disponibilidade de recursos e as Professoras Karin Maria Soares Chvatal (IAU-USP São Carlos) e Michelle Marta Rossi (FAU-USP) pelas sugestões propostas para melhoria deste trabalho.